

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**МАЛЬЦЕВ ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 631.362.633

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування параметрів і режимів роботи групової автонапувалки для ВРХ**  
(тема роботи)

**208 «Агроінженерія»**

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр  
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне  
джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

**Керівник роботи**

**Сукманюк Олена Миколаївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**к.і.н., доцент кафедри процесів,  
машин і обладнання в агроінженерії**

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2020

## АНОТАЦІЯ

Мальцев Д. О. Обґрунтування параметрів і режимів роботи групової автонапувалки для ВРХ. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Робота присвячена проблемі підвищення ефективності роботи групової автонапувалки для великої рогатої худоби.

Аналітично описано процес роботи групової автонапувалки для великої рогатої худоби. Обґрунтовано конструкцію групової автонапувалки з системою підігріву води, обладнаною енерготехнологічним блоком, що забезпечує напування тварин відповідно до зоотехнічних вимог. Описано будову групової автонапувалки та вивчені режими роботи циркуляційної системи автонапування, а також отримані аналітичні залежності для визначення теплотехнічних і гідравлічних характеристик циркуляційної системи автонапування.

**Ключові слова:** групова автонапувалка, велика рогата худоба, циркуляційна система, ефективність.

## ABSTRACT

Maltsev D. Substantiation of parameters and modes of work of group autowarning for bovine animals. Qualification of a robot for the education of the master's degree for specialty 208 - Agroengineering - Polissia National University, Zhytomyr, 2020.

The robot is assigned to the problem of increasing the efficiency of the robot group autowarning for the great thinness.

Analytically described the process of robotic group autowarning for great thinness. Equipped with the design of a group auto-floater with a system of power-driven water, equipped with an energy-technology unit, which will preserve the napuvannya of the animals up to the zootechnical ones. The described group autoflower and studied modes of robots of the circulating system and autopavigation are described, as well as the analysis of analytical deposits for the purpose of determining the heat-technical and hydraulic characteristics of the circulating system and autowarning.

Key words: group autowarning, great thinness, circulating system, efficiency.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОНАПУВАННЯ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ	6
1.1. Значення процесу автонапування на фермах великої рогатої худоби	6
1.2. Аналіз систем автонапування великої рогатої худоби	7
Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГРУПОВОЇ АВТОНАПУВАЛКИ	15
2.1. Розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів групової автонапувалки	15
2.2. Система автонапування як модель циркуляції води	20
Висновки по розділу 2	24
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ГРУПОВОЇ АВТОНАПУВАЛКИ	25
3.1. Методика дослідження теплотехнічних характеристик групової автонапувалки	25
3.2. Методика визначення режимних характеристик у груповій автонапувалці з циркуляцією води	27
3.3. Вибір факторів для проведення досліджень експертним методом	28
3.4. Методика проведення відсіючого експерименту	29
3.5. Результат відсіючого експерименту	31
3.6. Регресійна модель залежності швидкості циркуляції води від незалежних факторів	32
Висновки по розділу 3	36
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТОК	40

## ВСТУП

Однією з найважливіших умов підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції є створення й підтримка необхідних умов утримання.

Важливим фактором при підвищенні продуктивності великої рогатої худоби є правильна організація напування тварин. Від якості та кількості спожитої води залежить не тільки продукція тварин, а й фізіологічний стан їх організму.

Процес забезпечення тварин водою, при відсутності засобів механізації, є одним із найбільш трудомістких, так як витрати на доставку та напування складають біля 30% від загальних трудових витрат на фермі [1].

Враховуючи, що в процесі водопостачання тварини безпосередньо контактують з автонапувалками, що є завершальною ланкою загальної системи автонапування, то якість цього процесу залежить від їх конструктивних і технологічних параметрів. На тваринницьких об'єктах при груповому утриманні великої рогатої худоби в основному використовуються групові автонапувалки, які не враховують в повній мірі фізіологічних особливостей тварин, а також не забезпечують надійності і якості процесу.

Недосконалість існуючих групових автонапувалок обґрунтовується недостатнім вивченням гідравлічного і теплового режиму роботи, а також взаємозв'язку тварини з автоматичною напувалкою. Це потребує широкого спектру досліджень з обґрунтування параметрів і режимів роботи автоматичної напувалки.

Розробка нового устаткування й технологій повинна бути спрямована на зниження витрат електроенергії, зростання продуктивності праці, зниження витрат виробництва й собівартості тваринницької продукції, досягнення стійкості виробництва продукції тваринництва в сучасних умовах господарювання.

Відповідно до викладеного, у кваліфікаційній роботі сформульовано мету дослідження: обґрунтування необхідних параметрів і режимів роботи групової

автоматичної напувалки для великої рогатої худоби, що відповідає зоотехнічним нормам, а також зниженню теплових втрат та економії води.

**Об'єкт дослідження:** процес автоматизованого напування тварин при груповому обслуговуванні.

**Предмет дослідження:** закономірності процесу напування тварин в залежності від конструктивних параметрів автонапувалки.

**Методи дослідження:** теоретичні обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів автоматичної напувалки проводилось з використанням відомих положень теоретичних основ фізики, теплотехніки, зоотехніки, теорії планування експерименту.

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві» та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020».

**Обсяг та структура роботи.** Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 44 сторінках машинописного тексту, містить 6 таблиць, 15 рисунків, списку використаних джерел з 33 найменувань.

## РОЗДІЛ 1.

# ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОНАПУВАННЯ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

### 1.1. Значення процесу автонапування на фермах великої рогатої худоби

У процесі виробництва тваринницької продукції особливе місце займає процес напування тварин. Якісне й безперебійне напування дозволяє без додаткових витрат підвищити продуктивність тварин, знизити витрату кормів [2-4].

Своєчасне й у достатніх кількостях споживання води тваринами в сполученні з раціональною й повноцінною годівлею сприяє досягненню їхньої високої продуктивності. Добре налагоджений водопій сприяє підвищенню надою в корів на 25-30%. У молочних корів потреба у воді збільшується з підвищенням надоїв [5]. На 1 літр молока корови затрачають від 2,31 до 3,17 літрів води, а разом з водою, що втримується в кормі, - до 4,0-5,1 літрів. Корова з надоєм 12 кг випиває за добу 35-40 літрів води [6].

Дефіцит води в організмі тварин погано переноситься, порушується травлення і сповільнюється всмоктування живильних речовин у кров, погіршується здоров'я, знижується продуктивність.

Залежність кількості спожитої води також залежить від віку тварини, виду, кліматичних умов, способів напування, температури і властивостей води.

Якісне забезпечення напуванням великої рогатої худоби сприяє стабільності фізіологічного стану тварин [5], дозволяє знизити їхню захворюваність, а також підвищити продуктивність (по молоку на 10-15%; по приростах ваги до 20%) і знизити витрату кормів до 3%. Для цього тварини повинні бути забезпечені водою температурою 10-18 °С (корови, телята першого періоду +18 °С, молодняк +12-18 °С) з вільним доступом до неї [7, 8].

Молочна корова потребує в 4-5 л води в розрахунку на 1 кг молока. Це означає, що корова повинна мати постійний доступ до води [9, 10].

Зі збільшенням рівня молочної продуктивності корів потреба у воді збільшується (табл. 1) [9, 10].

Таблиця 1.

Рівень надою, корів, кг	Норми споживання води на 1 голову		
	для лактуючих корів	для сухостійних корів	на відгодівлі
3500	43	35	43
4000	50	37	48
5000	60	40	57
6000	65	42	60
7000	75	45	70

Істотний вплив на споживання води робить вид споживаного корму. При годівлі сухими кормами, а також силосом і зеленим кормом напувати тварин потрібно до дачі їм корму.

Найбільш раціональним способом постачання тварин водою є застосування автонапувалок. Застосування їх на фермах великої рогатої худоби дозволяє збільшити надої молока на 10-15%, також сприяє значному скороченню витрат праці на обслуговування й покращення санітарно-гігієнічних умов утримання тварин [11].

## **1.2. Аналіз систем автонапування великої рогатої худоби**

Механізований процес забезпечення тварин водою необхідної якості і кількості в режимі фізіологічної потреби тварини називається автонапуванням. Сукупність технологічного обладнання, машин, установок, водонапірної арматури та пристосувань, що є необхідними для підготовки води, її транспортування у тваринницьке приміщення та розподіл по місцях споживання, називається системою автонапування [5, 12].

У систему автонапування входять: трубопровід, водонагрівачі, напірне обладнання (відцентрові насоси, мембранні насоси), засоби автонапування (групові та індивідуальні напувалки), з'єднувальна і запірна арматура, контрольно-вимірювальна, запобіжна і сигналізуюча апаратура.

Для забезпечення зміни фізико-хімічних властивостей води проводиться розробка систем автонапування, що, ведеться у двох напрямках: очищення води від механічних домішок і зміна водневого показника рН.

Відповідно до способів та систем утримання тварин розробляються індивідуальні та групові автонапувалки [13].

Конструкція індивідуальної автонапувалки залежить від системи подачі води, її підігріву та напувальної чаші. Індивідуальні напувалки застосовуються на фермах великої рогатої худоби при прив'язному утриманні.

При безприв'язному утриманні великої рогатої худоби, а також на вигульних майданчиках застосовуються групові автонапувалки [14].

За принципом дозування води автонапувалки бувають об'ємного, вагового й порціонного дозування. Індивідуальні напувалки для великої рогатої худоби відрізняються конструкцією пристрою для дозування води, принципом захисту напувальної чаші від забруднення й способом підтримки даної температури води в напувальній чаші. Конструктивні схеми індивідуальних напувалок передбачають механічний вплив тварини на дозуючий пристрій – клапан [1, 15, 17] або еластичний пружний елемент [17]; вплив рухливої напувальної чаші на дозуючий пристрій, яким в одному випадку є клапан [18], а в іншому – еластична трубка [19].

За принципом мобільності автонапувалки поділяються на стаціонарні й пересувні. Стаціонарні автонапувалки встановлюються на тваринницьких фермах й відгодівельних площадках. Пересувні використовуються для доставки води й напування тварин безпосередньо на пасовищах.

За принципом контролю рівня води напувалки бувають вакуумні, клапанні, педальні й поплавкові, які відрізняються один від одного конструкцією клапанів.



Автонапувалки за принципом доступу до води поділяються на:

- з вільним доступом, тобто безпосередньо до водопойного корита;
- з доступом через клапанний механізм.

За способом нагрівання води їх поділяють на індуктивне нагрівання, нагрів за допомогою електродів та електротенів у водному об'ємі.

Класифікацію засобів групового автонапування тварин можна представити у вигляді схеми (рис. 1.1).

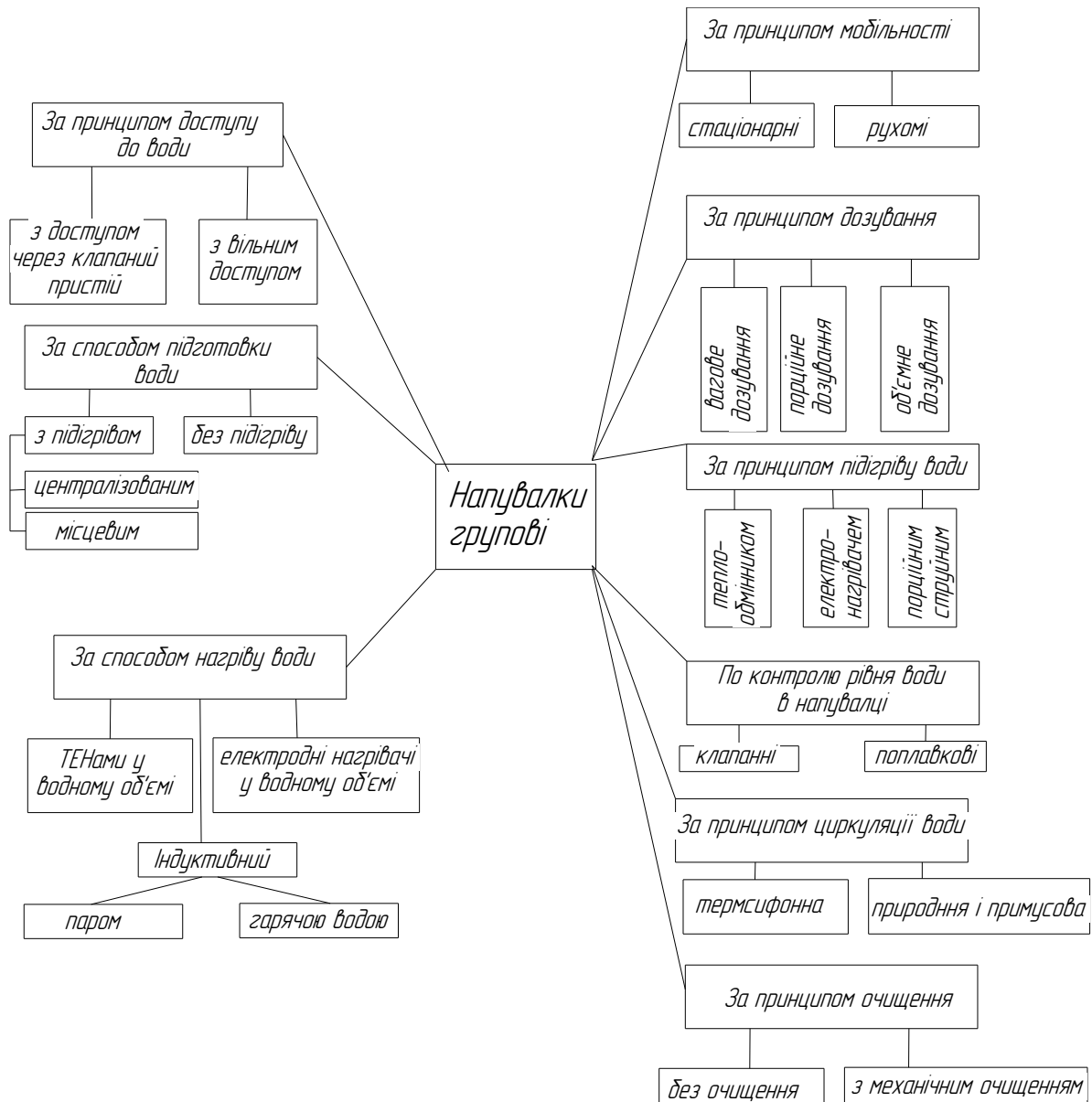


Рис. 1.1. Класифікаційна схема засобів групового автонапування

Незважаючи на різноманіття конструктивних рішень індивідуальні автонапувалки мають низьку продуктивність по обслуговуванню тварин. На відгодівельних майданчиках при використанні індивідуальних напувалок

процесу напування погіршується, так як використання їх у холодну пору року робить їх менш надійними і безперспективними при використанні на відкритих площадках.

Принцип групового напування тварин дозволяє виключити недоліки, властиві індивідуальному напуванню. Групові автонапувалки використовують в основному на фермах безприв'язного утримання великої рогатої худоби.

Для напування великої рогатої худоби були розроблені й використалися на тваринницьких об'єктах як індивідуальні, так і групові автонапувалки: ПАП-10А, ППА-1,7, ВУГ-3, АГК-12, АГК-4, АГК-4А, АГК-4Б, АКГ-12, АП-1 А, ПА-1Б, ПА-1 А, ПА-1АМ [20, 21].

Для групового напування великої рогатої худоби при безприв'язному його утриманні була розроблена мережа групових поїлок марки АГК-4, АГК-4А, АГК-4Б.

Групова напувалка АГК-4 (рис 1.2) призначена для напування 100 голів великої рогатої худоби. Розрахована на одночасне поїння чотирьох тварин

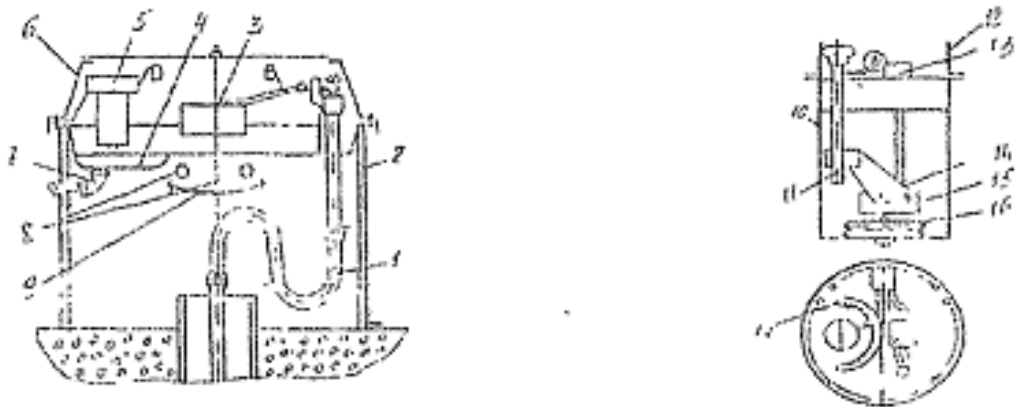


Рисунок 1.2 - Автонапувалка АГК-4: а - схема автонапування: 1 - гумовий рукав; 2 - теплоізоляція; 3 - клапанно-поплачковий механізм; 4 - чаша; 5 - терморегулятор; 6 - кронштейн; 7 – зливальна труба; 8 - нагрівальний елемент; 9 - відбійник; б - терморегулятор; 10 - склянка; 11 - регулювальний гвинт; 12 - кришка; 13 - перехідна колодка; 14 - кронштейн; 15 - мікроперемикач; 16 - мембрана; 17 – шкала

У процесі експлуатації напувалки тварина натискає на кришку чаші й п'є воду з її. При зменшенні стовпа води в чаші поплавков опускається, клапан відкривається, і вода надходить знову в чашу. Температура води в чашах регулюється в результаті переміщення поплавка. Групові автонапувалки монтується на бетонному фундаменті, водопровід до неї підводить через

керамічну трубу діаметром 200 мм, заповнену дерев'яними обпилюваннями або шлаками. Автонапувалку можна встановити всередині тваринницьких приміщень або на відкритих вигульних майданчиках [10, 21].

Групова напувалка призначена для напування 8 тварин на вигульно-кормових майданчиках у будь-який період року. Для забезпечення роботи в зимовий час напувалка обладнана електропідігріванням, що підтримує температуру води від 0...20° С незалежно від температури повітря [10, 22]. В центрі напувальної чаші розміщений запірний пристрій у вигляді стакана з фланцем для кріплення його до дна напувальної чаші. Всередині стакана знаходиться клапан, затиснутий пружиною до сидла. З зовнішньої сторони стакана з можливістю переміщення у вертикальній площині закріплений полий металевий поплавок з кришкою. Поплавок має з нижньої сторони упори, якими в нижньому положенні він натискає на важіль і відкриває клапан. Всередині поплавка розміщена апаратура керування, а на його днищі – електронагрівачі. Автонапувалка складається із корпусу 1, утепленої трубки 2, водо підведеної труби 3, шару ізоляції 4, електронагрівального елемента 5, блоку заземлення 6, терморегулятора 7, розділителя 8, поплавкового механізму 9, клапана 10, кришки 11, напувальної чашки 12.

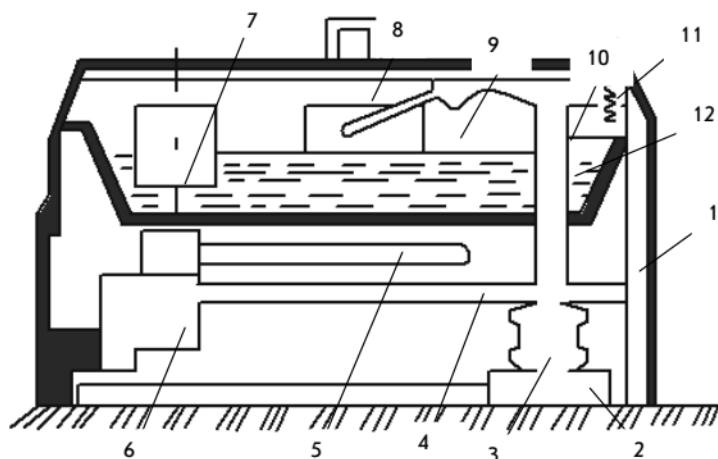


Рисунок 1.3 - Автонапувалка з електропідігріванням води АГК - 4А 1 - корпус; 2 - спускна трубка; 3 - пробка; 4 - напувальна чаша; 5 - кришка; 6 - кришка-клапан; 7 - поплавок; 8 - важільний механізм; 9 - клапанний механізм; 10 - реле регулятора; 11 - електропідігрівач; 12 - електрична лампочка; 13-шланг; 14-труба електропроводки; 15-теплова ізоляція

Переваги даної автонапувалки наступні:

- захист підведеної ділянки трубопроводу від замерзання здійснюється самою автонапувалкою, за рахунок передачі тепла від маси води, що знаходиться в напувалці, через днище до захищеної ділянки ґрунту;

- підвищена механічна міцність;
- підвищені вимоги до температури води в пікові періоди водоспоживання;
- наявність захисту, попереджуючої ввімкнення електронагрівачів при зниженні їх опору ізоляції або відключаємих електронагрівачів при порушенні цілісності ізоляції.

Групова автонапувалка АГК-4А має ряд недоліків. Через наявність третьові пари й поворотні пружини погано працюють кришки-клапани, що відкривають доступ твариною до води. Через невеликий об'єм води в напувальній чаші, вона швидко засмічується залишками корму, які заносяться в автонапувалку тваринами [23, 24].

Технологічна складність виготовлення та експлуатація запірною пристрою не дозволяє в короткі терміни знаходити причини його відмови і усувати їх.

На основі автонапувалки АГК - 4А розроблена стаціонарна, клапанна автонапувалка АГК - 4Б (рис. 1.4). Вона призначена для обслуговування 100 голів великої рогатої худоби при безприв'язному їхньому утриманні. Дана напувалка розрахована на одночасне поїння чотирьох тварин.

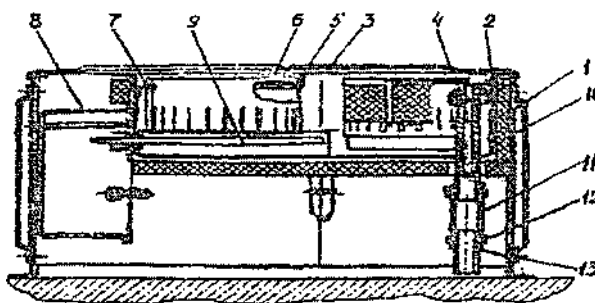


Рисунок 1.4 - Автонапувалка АГК - 4Б 1 - корпус; 2, 5 - чаша; 3 - кришка; 4 - клапанний механізм; 6 - поплавок; 7 - терморегулятор; 8 - шафа керування; 9 - електронагрівач; 10 - плити; 11 - рукав; 12 - хомут

Напувалка складається з напувальної чаші 2 ємністю 40 літрів, клапанно-поплавкового механізму 4, що забезпечує подачу води в напувалку й підтримки заданого її рівня, електронагрівального елемента (ТЕНА) 9 потужністю 0,8 кВт, що здійснює нагрівання води безпосередньо в напувальній чаші, а також

терморегулятора 7, що дозволяє автоматично підтримувати температуру води в напувальній чаші 8...18°C.

Групована автонапувалка з підігрівом води застосовується у всіх зонах при безприв'язному утриманні великої рогатої худоби в корівниках і на вигульних дворах. На відміну від автонапувалки АГК - 4А, споживання електроенергії в ній менше на 33%, витрати експлуатації - на 34%, витрати праці - на 42,8% [1, 10].

Основними недоліками даної напувалки є те, що нагрівальні елементи мають низьку надійність і часто виходять із ладу. Розташування нагрівального елемента всередині напувальної чаші вимагає необґрунтованого збільшення її розмірів, а значить додаткової витрати металу зі збільшенням обсягу води й часу його нагрівання. Головними ж недоліками даних конструкцій є інерційність нагрівального елемента, що не забезпечує необхідне нагрівання води в періоди її максимального споживання тваринами.

Велике розповсюдження отримали напувалки, які серійно випускаються типу АПГ-4 (рис. 1.5). Перевагою даної напувалки є наявність автоматичного регулювання електропідігріву.

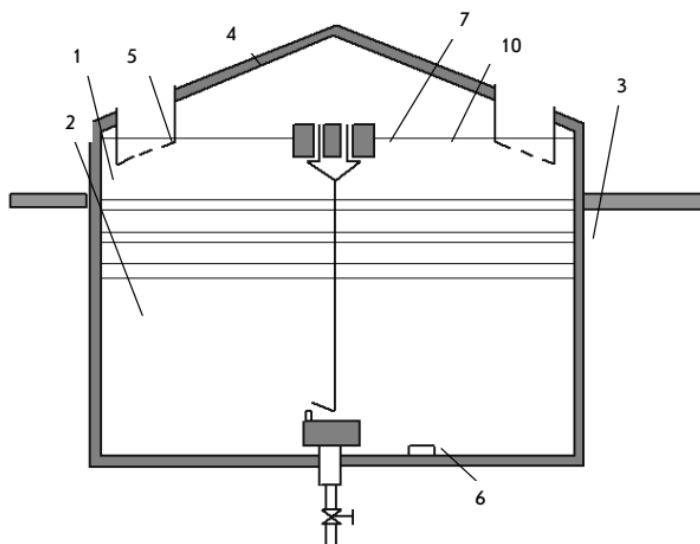


Рис. 1.5. Автоматизована напувалка АПГ-4: 1 - теплоізоляційний корпус; 2 - ємність з водою; 3 - теплоізоляційний шар; 4 - конусна кришка; 5 - корзина; 6 - температурний датчик; 7 - поплавковий механізм

Напувалка складається із теплоізоляційного корпуса 1, ємності водою 2, теплоізоляційного шару 3, конусної кришки 4, корзини 5, температурного датчика 6, поплавкового механізму 7.

Слабкою стороною напувалки є низька експлуатаційна надійність, тобто:

- низька механічна міцність;

- низька продуктивність запірного механізму;
- потужність електродвигуна не забезпечується потрібним температурним режимом у напувалці на момент пікових періодів водоспоживання;
- низька електробезпека.

Недоліками розглянутих засобів автонапування є нераціональне використання електроенергії на підігрів води в групових автонапувалках і збільшення витрат праці на їхнє обслуговування.

### **Висновки по розділу 1**

На тваринницьких фермах з розведення великої рогатої худоби в основному використовуються індивідуальні й групові напувалки. Однак їхніми істотними недоліками є підвищена витрата води, витрата електроенергії на підігрів води та теплові втрати.

Відомі системи і засоби напування неповністю враховують особливості тварин і планувальних рішень тваринницьких об'єктів.

У зв'язку із цим, метою даних досліджень є обґрунтування необхідних параметрів і режимів роботи групової автоматичної напувалки для великої рогатої худоби, що відповідає зоотехнічним нормам, а також зниженню теплових втрат та економії води.

На основі проведеного аналізу існуючих джерел, проблема удосконалення засобів механізації і автоматизації тваринництва, а зокрема автонапування, є досить актуальною і потребує вирішенню наступних задач:

1. Вивчення характеру взаємодії тварин з автонапувалкою і внесення пропозиції щодо вдосконалення конструктивних особливостей групової автонапувалки.
2. Обґрунтування основних параметрів та режимів роботи групової автонапувалки для великої рогатої худоби.

## РОЗДІЛ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГРУПОВОЇ АВТОНАПУВАЛКИ

#### 2.1. Розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів групової автонапувалки

Розрахунок групового автонапування виконується з врахуванням конкретних особливостей тваринницького приміщення й вигульної площадки, кількості, виду й вікового складу тварин, що утримуються на фермі в наступній послідовності: по видах споживання води твариною розраховується добова, годинна і секундні витрати води; по розрахунковій витраті води й режиму споживання води обґрунтовується місткість напувальної чаші, діаметр трубопроводів; обґрунтовується необхідна кількість автонапувалок; вибирається тип водонагрівача за формулою [17].

Потреби у воді при автоматизованому напуванні протягом доби визначається [1, 25]:

$$Q_{\text{доб}} = g_n \times N_m, \text{ доб} \quad (2.1)$$

де  $g_n$  - нормативний показник добового споживання твариною води, л/д;  
 $N_m$  – кількість тварин, гол.

Тому, що добове споживання води тваринами змінюється, то при проектуванні засобів групового автонапування необхідно визначити максимальне добове споживання за формулою [1]:

$$Q_{\text{max,доб}} = Q_{\text{доб}} \times \alpha_c, \text{ л/доб} \quad (2.2)$$

де  $\alpha_c$  – коефіцієнт добової нерівномірності споживання води,  $\alpha_c = 0,7 - 1,3$ .

Годинна витрата води визначається по формулі [26]:

$$Q_{\text{max,год}} = \frac{Q_{\text{max,доб}} \times \alpha_{\Gamma}}{24}, \text{ л/ГОД} \quad (2.4)$$

де  $\alpha_r$ - коефіцієнт годинної нерівномірності споживання води,  $\alpha_r = 2,5$ ;  
Максимальна витрата води (секундна) визначається таким способом [26]:

$$Q_{max.c} = \frac{Q_{max.g}}{3600}, \text{ л/с} \quad (2.5)$$

Розрахункова витрата води (секундна) через робочу ділянку трубопроводу може бути визначена із врахуванням інтенсивності відбору води тваринами за формулою [1, 26]:

$$Q_{max.c} = i \times N_0, \text{ л/с} \quad (2.6)$$

де  $i$  - інтенсивність споживання твариною води, л/с;

$N_0$  - кількість тварин, які одночасно споживають воду з напувалок.

Кількість тварин, які одночасно споживають воду залежить від: числа тварин, що обслуговують системою, рівня годівлі й показників повітряного середовища в місцях розміщення тварин.

Число тварин, що одночасно споживають воду можна визначити [1, 26]:

$$N_0 = \frac{N_m \times \alpha_{одн.}}{100}, \text{ гол.} \quad (2.7)$$

де  $\alpha_{одн.}$  – відсоток тварин, які одночасно споживають воду,  $\alpha_{одн.} = 5 - 12\%$ .

Відсоток одночасно діючих автонапувалок з достатньою вірогідністю можна визначити по залежності [26]:

$$P_a = \frac{\sqrt{n_{нап.}}}{n_{нап.}} \times 100, \% \quad (2.8)$$

У результаті технологічних розрахунків обґрунтовується необхідна кількість автонапувалок, загальний фронт використання напувалки, необхідний обсяг напувальної чаші, пропускна здатність клапанно-поплавкового пристрою.

Для групових автонапувалок, що мають прямокутну подовжену форму напувальної чаші, її довжина визначається з урахуванням фізіологічних особливостей і вікових групи тварин по наступній формулі [1, 26]:

$$L_n = f \times N_0, \text{ м} \quad (2.9)$$

де  $f$  - фронт напування для однієї тварини (залежить від вікових груп тварин і породи; молодняк на відгодівлі по періодах відгодівлі: стартовий



період  $f = 29$  см, заключний  $f = 43$  см); Кількість тварин, що одночасно споживають воду, визначається за формулою [26]:

$$N_0 = \frac{N_m \times t_{cp}}{t_k \times l_n \times P_{йм}}, \text{ гол} \quad (2.10)$$

де  $t_{cp}$  – середня тривалість разового водоспоживання (корови дійні  $t_{cp} = 40,4$  с; відгодівельний молодняк  $t_{cp} = 41-52$  с;

$t_k$  – тривалість споживання корму (відгодівельний молодняк  $t_k = 7200 \dots 9000$  с);

$P_{йм}$  - ймовірність, що забезпечує вірогідність події ( $P_{йм} = 0,79 \dots 0,84$ ). Загальний фронт напування групової автонапувалки може бути визначений за наступною формулою [26]:

$$F_n = N_0 \times \alpha_{одн.} \times b_m, \quad (2.11)$$

де  $b_m$  – довжина ділянки напувалки, що займає одна тварина (визначається з урахуванням фізіологічних особливостей тварини, його розмірів). Відсоток одночасного споживання води тваринами приймаємо  $\alpha_{одн.} = 2\%$ .

Максимальна місткість напувальної чаші визначена з умови забезпечення разового напування тваринами при максимальному завантаженні напувалки [26]:

$$V = N_m \times v_{ін} \times t_{cp}, \text{ л} \quad (2.12)$$

де  $N_m$  - кількість тварин, що одночасно споживають воду з однієї напувалки, гол;  $v_{ін}$  - швидкість споживання води однією твариною, л/хв. Для обґрунтування довжини (L) напувальної чаші при обслуговуванні тварин на культурних пасовищах використовується наступна залежність [1, 26]:

$$L = \frac{N_m \times l_{н.ч.} \times t_{гр}}{T_{нап}}, \text{ м} \quad (2.13)$$

$l_{н.ч.}$  - довжина ділянки напувальної чаші, що розраховується на одну тварину, м;  $t_{гр}$  – тривалість напування групи тварин;  $T_{нап}$  - тривалість напування стада [1, 26].

Об'єм напувальної чаші з автоматичною підтримкою води, із заданою температурою, визначається по формулі:

$$V = Q_m \times n \times t_B \frac{t_n - t_x}{t_{ав} - t_x} k_{кон.} \quad (2.14)$$

де  $Q_m$  – витрата води, що споживають тварини, с/с;  $n$  – кількість тварин, гол;  $t_b$  – час витрати води тваринами, сек;  $t_n$  – температура води, відповідно до зоотехнічних вимог, °С;  $t_x$  – температура холодної води, що надходить в напувалку, °С;  $t_{ав}$  – температура води в автонапувалки, °С;  $k_{кон.}$  – конструктивний коефіцієнт, 1,19.

Для максимального використання фронту напування й створення оптимальних умов пропонується групова автонапувалка.

Групова автонапувалка визначається площею сектора, займаного твариною:

$$S_{\text{сект.}} = \frac{\pi \cdot R_{\text{вод.плоч.}}^2 \cdot \gamma}{360^\circ}, \quad (2.15)$$

де  $R_{\text{вод.плоч.}}$  - радіус активної зони водопійної частини, м;  $\gamma$  – кут (сектор), в якому розміщена тварина, град.

Зона розміщення однієї тварини біля групової автонапувалки циліндричної форми, можна визначити за формулою:

$$S_{\text{в.п.}} = a_2 \cdot (a_4 - a_3) + S_{\text{трап.рв.тр.}} \quad (2.16)$$

$$R_{\text{нап}} = \frac{a \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot k_{\text{без}}, \quad (2.17)$$

де  $k_{\text{без}}$  – коефіцієнт, що враховує безпеку розміщення тварин в зоні споживання води в залежності від екстер'єру і характеру поведження тварини,  $k_{\text{без}} = 1,1 - 1,2$ ;  $a$  – розмір голови по виступаючим частинам (рогам), м;  $a_2$  – ширина тулуба тварини, м;  $a_3$  – відстань від задньої ноги до хвоста тварини, м;  $a_4$  – довжина голови, м.

$$tg\delta = \frac{(a_2 - a)}{2 \cdot a_{14}} \cdot k_{\text{без}}, \quad (2.18)$$

$a_{14}$  – відстань від виступаючих частин голови до максимальної ширини тулуба тварини у фронтальній проекції, м.

$$a_{14} = \frac{(a_2 - a)}{2tg\delta}, \quad (2.19)$$

$$R_{\text{в.п.}} = a_{15} + \frac{a(tg\delta + 1)}{\sqrt{2} \cdot tg\delta}, \quad (2.20)$$

де  $a_{15}$  – довжина від самої широкої частини тварини до хвоста тварини, м.

Довжина площадки, де розміщена одна тварина в залежності від степеня вільних рухів при проході до автоматичної напувалки визначається за формулою:

$$L_{\text{площ}} = \pi \cdot \alpha \frac{\left(a_{15} + \frac{a(\text{tg}\delta + 2\sqrt{2})}{2 \cdot \text{tg}\delta} - a_3\right)}{180^\circ}. \quad (2.21)$$

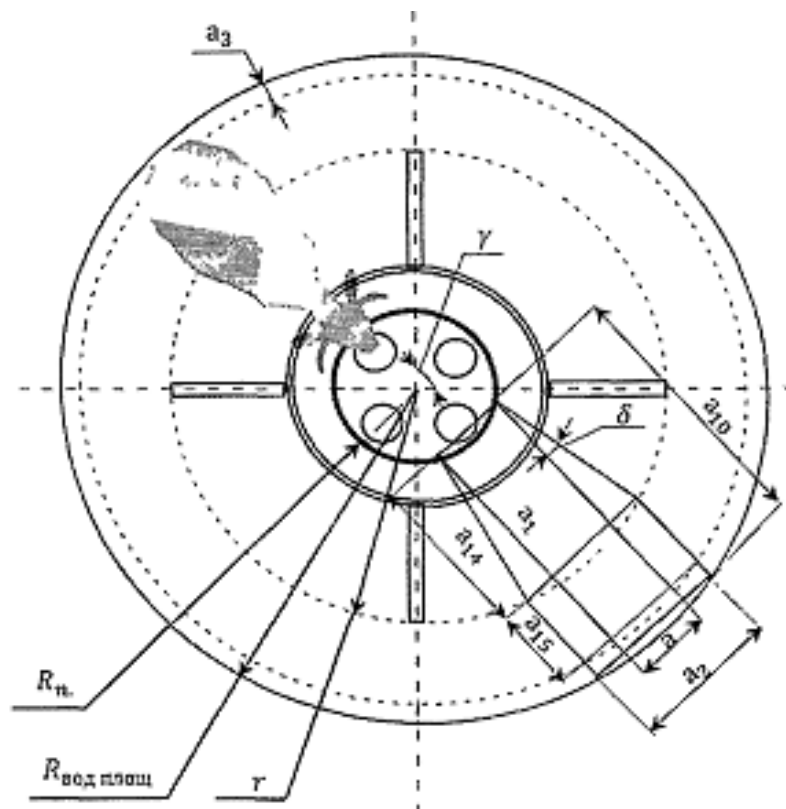


Рисунок 2.1 - Схема розміщення тварини біля групової напувалки

Кут сектора розміщення тварини визначається по формулі:

$$\text{tg}\delta = \frac{(a_2 - a)}{2 \cdot a_{1.4}}. \quad (2.22)$$

Розміри водонапувалки обґрунтовують довжину дуги розглянутого сектора ( $L_{\text{д.сек}}$ ), що характеризує фронт напування тварини:

$$L_{\text{д.сек}} = \pi \cdot \alpha \frac{\left(a_{15} + \frac{a(\text{tg}\delta + 2\sqrt{2})}{2 \cdot \text{tg}\delta}\right)}{180^\circ}. \quad (2.23)$$

Довжина фронту напування в автонапувалці залежить від фронту напування однієї тварини:

$$l_{\text{ав.п}} = L_{\text{д.сек}} \cdot N_0, \quad (2.24)$$

де  $N_0$  – кількість тварин, що одночасно обслуговуються напувалкою.

Довжина дуги сектора водопойної площадки ( $L_{\text{площ}}$ ) дозволяє визначити загальну довжину периметра площадки і потрібний її радіус:

$$L_{\text{площ}} = N_0 \cdot L_{\text{дуги}}. \quad (2.25)$$

## 2.2. Система автонапування як модель циркуляції води

Однією із проблем забезпечення тварин водою відповідно до зоотехнічних вимог є оптимальний підбір параметрів напувальної чаші, а також забезпечення необхідної циркуляції води.

Основними параметрами відповідно до забезпечення технологічного процесу напування є розміри напувальної чаші, яка повинна вміщати необхідний об'єм води для напування тварин.

Циркуляція полягає в повній або частково замкнутій системі, заповненій водою, що циркулює в ній під дією сил термічної конвекції [2, 17, 19].

При проведенні аналізу конструктивних елементів групової автонапувалки з циркуляцією води було виявлено ряд недоліків, що пов'язані з недостатньою швидкістю циркуляції води в груповій автонапувалці.

Процес циркуляції води протікає наступним способом (рис. 2.2). Вода по підведеному трубопроводу 5 через клапанно-поплачковий пристрій 4 надходить в напувальну чашку 2. З напувальної чашки 2 вода по патрубку 8 надходить в

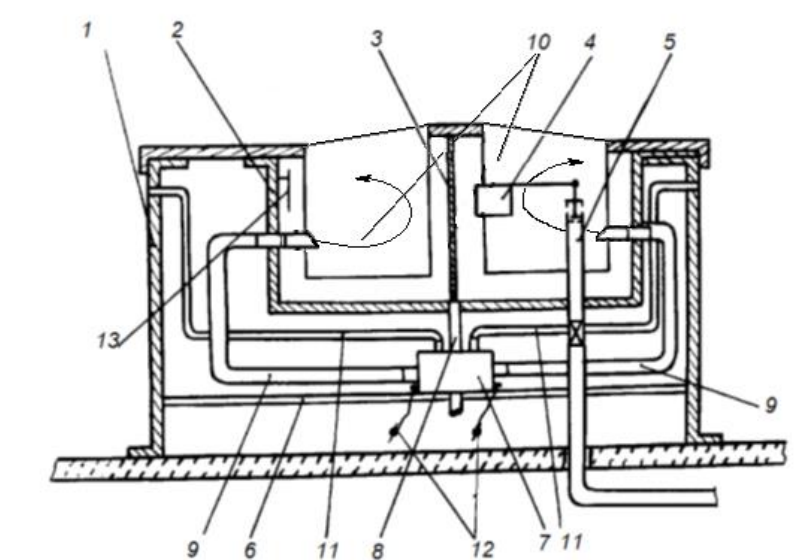


Рис. 2.2. Процес циркуляції води в груповій автонапувалці.

енерготехнологічний блок 7 і заповнює систему циркуляційних трубопроводів 9. Блок 7 під'єднаний до системи енергозабезпечення змінним струмом, при цьому здійснюється електродний підігрів води блока і за рахунок природної циркуляції по схемі: енерготехнологічний блок 7 циркуляційні патрубки 9 напувальна чаша 2 вода живильний патрубок 8 енерготехнологічний блок 7, підігрів води в напувальній чаші 2. Підтримання заданої температури здійснюється термодатчиком 13.

Основною рушійною силою процесу тут є циркуляційний тиск, що визначається різницею циркуляційних тисків стовпів охолодженої  $P_x$  й гарячої води  $P_r$ , що залежать від геометричних параметрів групової автонапувалки [27, 28].

$$P_x = \rho_x \cdot h_1 \cdot g + \rho_x \cdot h_2 \cdot g + \rho_x \cdot h_3 \cdot g + \rho_r \cdot h_4 \cdot g + P_a, \quad (2.26)$$

де  $\rho_1$  – густина охолодженої води (при  $t \leq 8^\circ\text{C}$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_r$  – густина підігрітої води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $h_1, h_2, h_3, h_4$  – висота стовпа рідини, м;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $P_a$  – атмосферний тиск.

Тиск гарячої води в нагрівачі буде

$$P_r = \rho_x \cdot h_1 \cdot g + \rho_x \cdot h_2 \cdot g + \rho_r \cdot h_3 \cdot g + \rho_r \cdot h_4 \cdot g + P_a, \quad (2.27)$$

Різниця цих тисків визначає величин циркуляційного тиску:

$$P_{\text{ц}} = P_1 - P_n = g(\rho_x - \rho_r)(h_2 + h_3), \text{ Н/м}^2. \quad (2.28)$$

Циркуляційний тиск також залежить від геометричних параметрів нагрівального блоку й висоти випуску води в зону змішування. Тимчасово на циркуляційний тиск впливає стабільність температурного режиму в нагрівальному блоці, тому одним з напрямків підвищення якості процесу є підвищення теплоізоляції нагрівального блоку. В процесі експлуатації напувалок рівень води в напувальній чаші змінюється від максимального до мінімального.

Швидкість циркуляції води характеризується циркуляційною витратою й залежить від площі перетину водовипускних патрубків [29]:

$$v = \frac{4G_{\text{ц}}}{F_{\text{ц}}}, \text{ м/год}; \quad (2.29)$$

де  $G_{\text{ц}}$  – циркуляційна витрата, м<sup>3</sup>/год;  $F_{\text{ц}}$  – площа перетину водовипускних патрубків, м<sup>2</sup>.

Для перпендикулярного зрізу водовипускних патрубків швидкість циркуляції визначається за формулою:

$$v = \frac{4G_{\text{ц}}}{\pi \cdot d^2}, \text{ м/год}; \quad (2.30)$$

При зміні кута зрізу площа перетину змінюється, отже, швидкість циркуляції змінюється і визначається за формулою:

$$v = \frac{4G_{\text{ц}}}{\pi \cdot a_{\text{п}} \cdot b_{\text{п}}}, \text{ м/год}; \quad (2.31)$$

де  $a_{\text{п}}$ ,  $b_{\text{п}}$  – півосі еліпса площини зрізу патрубка, м.

Перетворена формула (2.31) буде мати вигляд:

$$v = \frac{8G_{\text{ц}} \cdot \sin \beta}{\pi \cdot d^2}, \text{ м/год}; \quad (2.32)$$

де  $d$  – діаметр циркуляційного трубопроводу, м.

При циркуляції води у системі опір переміщення, і частина циркуляційного тиску витрачається на компенсацію опору тертя в трубопроводах, на подолання місцевих опорів й опорів при переміщенні шарів води [23].

Для нормальної циркуляції води в автонапувалці величина циркуляційного тиску повинна бути більше суми гідравлічних опорів:

$$P_{\text{ц}} \geq R_{\text{тр}} + R_{\text{м}} + R_{\text{п.в.}} \quad (2.33)$$

де  $R_{\text{тр}}$  – опір тертя;  $R_{\text{м}}$  – місцевий опір;  $R_{\text{п.в.}}$  – опір при переміщенні частинок води.

Зв'язок між циркуляційним тиском і сумарним гідравлічним опором можна визначити наступним чином:

$$\sum R_{\text{г}} = R \sum l = \alpha \cdot P_{\text{ц}} \quad (2.34)$$

де  $R$  – питомі втрати тиску на перетворення опорів, н/м<sup>2</sup>;  $l$  – довжина трубопроводу, м;  $\alpha$  – відсоткове значення втрат тиску.

Питомі втрати тиску на 1м довжини трубопроводу визначаємо за формулою:

$$R = \frac{\alpha \cdot P_{\text{ц}}}{\sum l}. \quad (2.35)$$

Втрати тиску по довжині трубопроводу можуть бути визначенні за формулою [30]:

$$P_{\text{тр}} = \lambda_{\text{оп.тр}} \cdot \frac{l}{d_{\text{тр}}} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (2.36)$$

де  $\lambda_{\text{оп.тр}}$  – коефіцієнт опору або тертя;  $d_{\text{тр}}$  – діаметр циркуляційних трубопроводів, м.

Втрати тиску в місцевих опорах

$$P_{\text{м}} = \sum k \cdot \lambda \frac{\rho \cdot v_{\text{ц}}^2}{2}, \quad (2.37)$$

де  $k$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів на шляху води по розрахунковому контуру;  $\rho$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>.

Швидкість циркуляції води також залежить від створеного циркуляційного опору і може бути визначена при відомому  $P_{\text{ц}}$  за формулою:

$$v = k_{\text{г.в.}} \cdot \sqrt{2g \frac{P_{\text{ц}}}{\rho_{\text{ср}}}}, \quad (2.38)$$

де  $k_{\text{г.в.}}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічні втрати,  $\sqrt{\text{кг/Н}}$ .

Діаметр циркуляційних трубопроводів може бути обґрунтований циркуляційною витратою води в розглянутій системі й швидкістю її циркуляції [30]:

$$d = \sqrt{\frac{4G_{\text{ц}}}{\pi \cdot v^2}}. \quad (2.39)$$

Залежність циркуляційної витрати води від швидкості циркуляції й діаметра циркуляційного трубопроводу представлена на рис. 2.3.

Швидкість циркуляції води залежить від висоти розташування нагрівального блоку, циркуляційного тиску, циркуляційного трубопроводу, а також втрат тиску по довжині трубопроводу.

Теплові втрати в напувалці залежать від конструктивних особливостей її й теплотехнічних властивостей ізоляційного матеріалу:

$$Q_n = \sum k_i \cdot F_i (t_n - t_{\text{з.п.}}), \quad (2.40)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$  конструктивного елемента;  $F_i$  – площа теплопередачі  $i$  конструктивного елемента;  $t_n$  – температура підігрітої води

(відповідно до зоотехнічних вимог 8...18<sup>0</sup>C);  $t_{з.п.}$  – температура зовнішнього повітря.

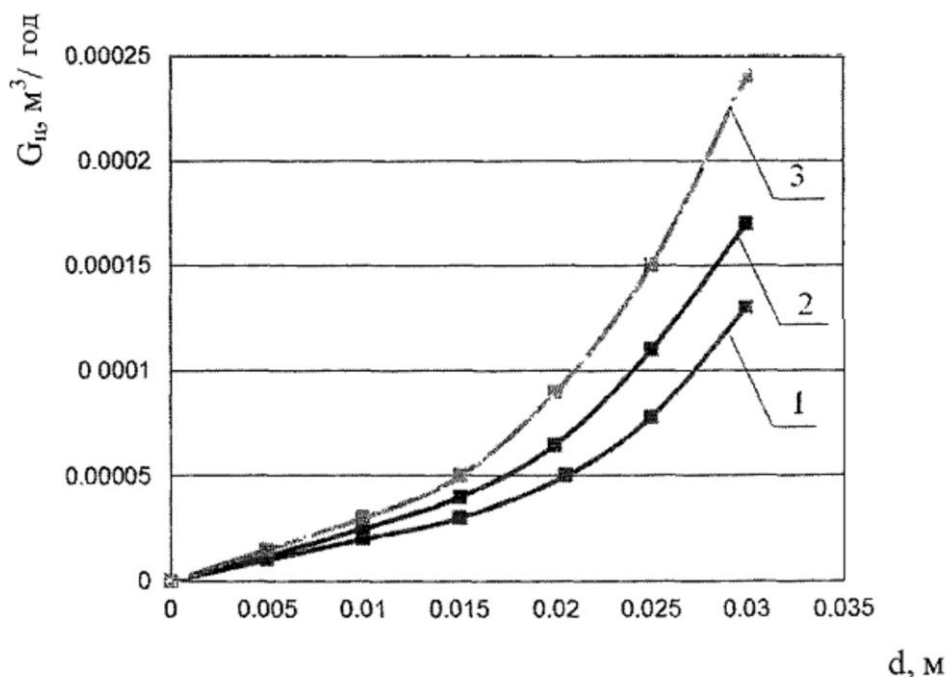


Рисунок 2.3 - Залежність циркуляційної витрати води від швидкості циркуляції й діаметра циркуляційного трубопроводу: 1 - швидкість  $v = 0,033$  м/с; 2 - швидкість  $v = 0,035$  м/с; 3 - швидкість  $v = 0,037$  м/с

Циркуляційна витрата води в напувалці

$$G_{ц} = \frac{3,6 \cdot Q_n}{c(t_n - t_{н.ч.})}, \quad (2.41)$$

де  $Q_n$  – втрати тепла напувалкою, Вт;  $c$  – питома теплоємність води,  $c=4,19$  кВж/кг град.;  $t_n$  – температура води в нагрівачі;  $t_{н.ч.}$  – температура води в напувальній чаші.

Таким чином, основною рушійною силою процесу циркуляції води в автонапувалці є швидкість циркуляції, що залежить від висоти розташування нагрівального блоку, висоти патрубків, води в об'ємі напувальної чаші, довжини й діаметра циркуляційного трубопроводу.

## Висновки по розділу 2

У даному розділі наведена методика розрахунку основних конструкційних і технологічних параметрів групової автонапувалки, що дозволяє підбирати необхідну швидкість циркуляції води відповідно до зоотехнічних вимог для напування великої рогатої худоби.



## **РОЗДІЛ 3.**

### **УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ГРУПОВОЇ АВТОНАПУВАЛКИ**

Експериментальні дослідження процесу проводились в лабораторних умовах.

Програмою роботи передбачалось:

- дослідження теплотехнічних характеристик робочого процесу групової автонапувалки;

- визначення режимних характеристик циркуляції води в груповій автонапувалці.

Завданнями проведення експериментальних досліджень є:

- збільшити швидкості циркуляції води в груповій автонапувалці.

- одержати дані залежності швидкості циркуляції води від кутів нахилу й кутів зрізу водовипускних патрубків.

- на підставі досліджених даних одержати регресійну модель швидкості циркуляції води від кута нахилу й кута зрізу водовипускних патрубків.

#### **3.1. Методика дослідження теплотехнічних характеристик групової автонапувалки**

У процесі дослідження взаємозв'язку тварини із груповою автонапувалкою зробили оптимальний підбор форм і геометричних параметрів корпусу напувальної чаші.

При експериментальному дослідженні необхідно було одержати інтенсивність підходу тварин до групової автонапувалки, тривалість споживання води, встановити час адаптації великої рогатої худоби до автонапувалки, розміщення тварини біля напувалки.

Вивчення поведінки тварин у груповій автонапувалки передбачало визначення траєкторії руху голови тварини в зоні споживання води.

Була розроблена експериментальна установка (рис. 3.1).

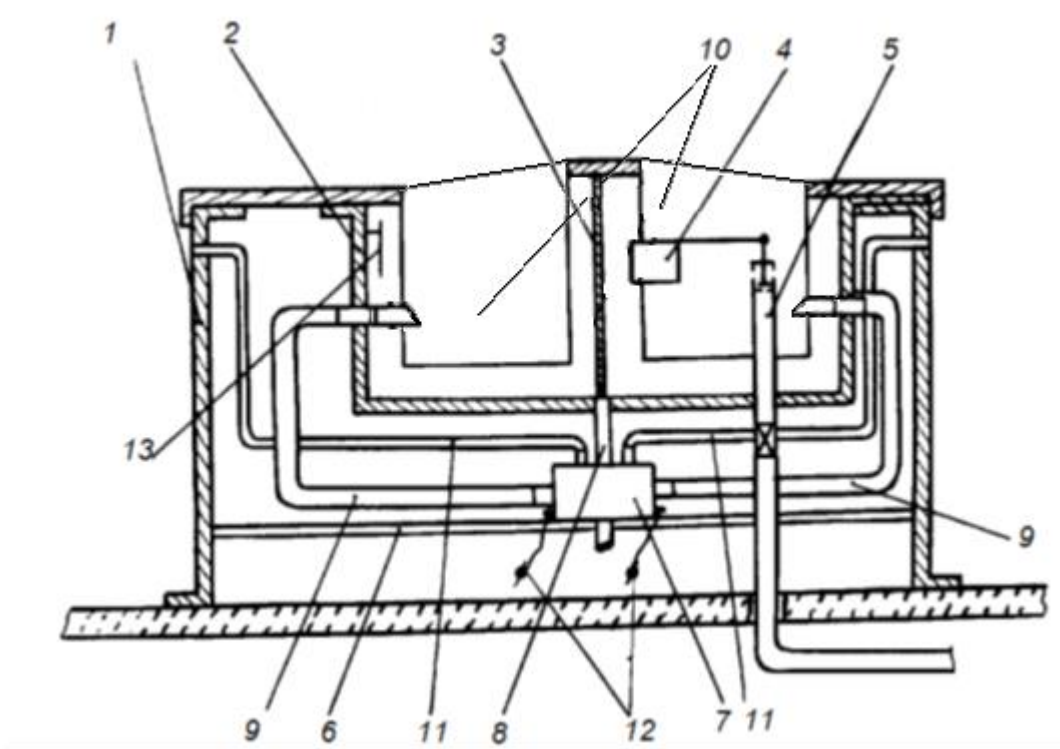


Рис. 3.1. Групова автонапувалка: 1 – корпус; 2 – напувальна чаша; 3 – непроникна перегородка; 4 – клапанно-поплавковий пристрій; 5 – трубопровід; 6 – опори; 7 – енерготехнологічний блок; 8 – патрубок; 9 – циркуляційний патрубок; 10- напувальні зона; 11 – газовідведені патрубки; 12 – електропровід; 13 – термодатчик

Дослідження теплотехнічних характеристик групової автонапувалки проводилися з використанням експериментальної установки в лабораторних умовах на кафедрі процесів, машин і обладнання в агроінженерії.

Експериментальна групова автонапувалка включає: напувальну чашу, корпус напувалки із заземлюючим пристроєм, заглиблений нагрівальний блок із пристроєм захисного заземлення, підведені патрубки, розташовані під кутом нахилу ( $\alpha$ ) з визначеним кутом зрізу ( $\beta$ ), терморегулятор (рис. 3.1).

У процесі досліджень проводилися виміри параметрів навколишнього середовища, кількості води, що надходить у напувальну чашу, температури

води в напувальній чаші, терміни її нагрівання до заданої температури, температури в циркуляційних трубопроводах, а також у нагрівальному блоці

Тиск, температуру, вологість і рух повітря в зоні напування заміряли за допомогою барометра, термометра ВЧ-0,6, психрометра БМ-2 й анемометри АСО-3.

Значення температури води в напувальній чаші замірювали термометром у трьох рівнях, рівномірно розподілених по висоті, розбитих на 9 зон. Заміри здійснювалися з інтервалом часу в 5 хвилин.

Вода, що надходила у напувальну чашу, замірялася за допомогою лічильника СГВ-15 і секундоміра з одночасним виміром температури води.

Дослідження проводилися протягом 8-10 днів.

### **3.2. Методика визначення режимних характеристик у груповій автонапувалці з циркуляцією води**

За допомогою досліджуваної групової автонапувалки здійснювалися заміри й перевірка процесу циркуляції води також здійснювались заміри:

- температури й вологості навколишнього середовища;
- тривалості нагрівання води до заданої температури;
- температури води в напувальній чаші;
- споживаної потужності нагрівального елемента;
- швидкості циркуляції води;
- витрати через циркуляційні патрубки.

Для перевірки функціонування циркуляції води проводилися заміри швидкості руху води залежно від її температури в напувальній чаші, у нагрівальному блоці, а також у сполучних патрубках.

У процесі визначення швидкості циркуляції води в напувальній чаші використалися секундомір, коркова кулька й вимірювальна рулетка. Траєкторія руху циркуляційного потоку води в напувальній чаші визначалася за

допомогою фарбування струменів води, що надходить із випускних перфорованих патрубків у напувальну чашу групової автонапувалці.

Для заміру характеристик процесу циркуляції води використали амперметр, вольтметр, секундомір, психрометр, барометр, термометри, штангенциркуль, анемометр і лабораторні автотрансформатори (ЛАТР).

Температурні показники визначалися з тимчасовим інтервалом 5 хвилин. Тривалість дослідження обмежувалася температурними показниками води - 30 °С (зоотехнічний температурний показник питної води).

### 3.3. Вибір факторів для проведення досліджень експертним методом

Для визначення значимих незалежних факторів, що впливають на швидкість циркуляції води, визначали параметри об'єкта, якому привласнювали бали по шкалі від 0 до 10. Важливість параметра об'єкта в балах визначається за формулою:

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^m \frac{(B_{ij} - B_{cj})}{m}, \quad (3.1)$$

де  $\alpha_i$  – важливість  $i$ -го параметра об'єкта;  $i$  – номер параметра об'єкта;  $j$  – номер експерта;  $m$  – кількість експертів в групі;  $B_{ij}$  – бал, присвоєний  $i$ -му параметру  $j$ -м експертом;  $B_{cj}$  – сума балів, присвоєних  $j$ -м експертом всім параметрам об'єкта.

Нами було встановлено, що швидкість циркуляції води характеризується декількома важливими факторами, а саме: діаметром водовипускних патрубків ( $d_n$ ), довжиною водовипускних факторів ( $l_n$ ), різницею температур між нагрівальним блоком і напувальною чашею ( $\Delta t$ ), кутами нахилу водовипускних патрубків ( $a$ ), кутами зрізу верхньої грані водовипускних патрубків ( $\beta$ ), рівнем води в напувальній чаші ( $H_{н.ч}$ ) і температурою води в напувальній чаші ( $t_{н.ч}$ ).

Значимими незалежними факторами, що впливають на швидкість циркуляції води, є діаметр ( $d_n$ ) і довжина водовипускних патрубків ( $l_n$ ). Максимальний діаметр патрубків приймаємо 25 мм, мінімальний - 16 мм, у якості середнього приймаємо 22 мм. Максимальну довжину водовипускних патрубків приймаємо 120 см, мінімальну - 60 см, середню - 90 см.

Один з основних факторів - різниця температур ( $\Delta t$ ) між температурами в нагрівальному блоці й напувальній чаші. Експериментально визначена максимальна різниця температур ( $\Delta t$ ) -  $8^\circ$ , а мінімальна  $4^\circ$ . Як середнє значення приймаємо  $6^\circ$ .

Швидкість циркуляції води змінюється при різних кутах нахилу водовипускного патрубку, тому вибираємо максимальний кут нахилу патрубка ( $\alpha$ ) -  $30^\circ$ . Як мінімальна величина приймаємо  $5^\circ$ . Діапазон варіювання від  $5^\circ \dots 30^\circ$  занадто великий, тому його необхідно розбити на два діапазони. Перший діапазон варіювання від  $5^\circ \dots 15^\circ$ , як середнє значення приймаємо  $10^\circ$ . Другий діапазон варіювання від  $15^\circ \dots 30^\circ$ , як середнє значення приймаємо  $25^\circ$ .

У якості третього значимого фактора вибираємо кут зрізу верхньої грані патрубка з перфорацією по висоті ( $\beta$ ). Прийнятий максимальний кут зрізу менш  $55^\circ$ , мінімальний -  $30^\circ$ . Тому, що діапазон варіювання від  $30^\circ \dots 55^\circ$  занадто великий, те його необхідно розбити також на два діапазони. Перший діапазон варіювання від  $30^\circ \dots 45^\circ$ , як середнє значення приймаємо  $40^\circ$ . Другий діапазон варіювання від  $45^\circ \dots 55^\circ$ , як середнє значення приймаємо  $50^\circ$ .

При максимальному відборі води тваринами рівень води в напувальній чаші змінюється від максимальної до мінімальної величини, тому четвертим важливим незалежним фактором є рівень води в напувальній чаші ( $H_{н.ч.}$ ). Максимальний рівень води в експериментальній груповій автонапувалці не може бути більше 180 см. Мінімальний рівень води в напувальній чаші - 120 см. Як середнє значення приймаємо 150 см.

На швидкість циркуляції води також впливає температура води в напувальній чаші ( $t_{н.ч.}$ ). Приймаємо максимальну температура води  $18^\circ\text{C}$ , мінімальну -  $8^\circ\text{C}$  и середню -  $13^\circ\text{C}$ . Як незалежних факторів для проведення досліджень експертами прийняті фактори, представлені в табл. 1 (додаток А).

### **3.4. Методика проведення відсіючого експерименту**

Даний експеримент проводиться з метою виявлення факторів, що роблять найбільший вплив на швидкість циркуляції води в напувальній чаші автонапувалки.

Для виконання експерименту, вибраний ортогональний насичений план Плакетта-Бермана з матрицею спеціальної конструкції.

Для визначення дисперсії оцінок факторів до досліджуваних факторів додаються фіктивні. Завдяки ортогональності плану коефіцієнти регресії розраховуються незалежно один від одного. Кожен дослід проводиться в трикратній повторності. Результатом проведення експерименту є одержання лінійної моделі виду [30]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad (3.2)$$

де  $k$  - число дійсних факторів моделі;  $b_i$  – коефіцієнт рівняння регресії;  $x_i$  – фактори експерименту.

Як критерій оптимізації роботи групової автонапувалки на даному етапі досліджень прийнята швидкість термосифонної циркуляції води.

Розрахунок коефіцієнтів регресії визначимо за формулою [30]:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{i\pi} y_{\pi}}{N}, \quad (3.3)$$

де  $N$  – число дослідів моделі;  $x_{i\pi}$  – фактори експерименту кожної повторюваності;  $y_{\pi}$  – відгук експерименту кожної повторюваності.

Кінцева дисперсія розраховується за виразом [31]:

$$i = 0, 1, 2, \dots, k, \\ S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^{N-k-1} b_j^2}{N-k-1}, \quad (3.4)$$

де  $b_j^2$  – коефіцієнт регресії при  $j$ -м фіктивному факторі (всього таких факторів  $N - k - 1$ ).

Для перевірки статичної залежності коефіцієнтів розраховується дисперсія коефіцієнта [31]:

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}, \quad (3.5)$$

Значимість коефіцієнтів регресії визначається за критерієм по  $t$ -критерію, причому статично значимими є коефіцієнти, що задовольняють умову [31]:

$$|b_i| \geq t_{кр} \cdot S_{b_i}, \quad (3.6)$$

де  $t_{кр}$  – табличне значення критерію Стьюдента.

Наступним етапом є перевірка гіпотези про адекватність моделі, тобто про можливість використання отриманих рівнянь або необхідності побудови більш складної моделі. Перевірка отриманої лінійної моделі на адекватність здійснюється за критерієм Фішера, значення якого визначається за формулою:

$$F_{f_2;f_1}^{\text{розр}} = \frac{S_{\text{неад}}^2}{S_y^2}, \quad (3.7)$$

де  $S_{\text{неад}}^2$  – дисперсія неадекватності.

Дисперсія неадекватності розраховується за формулою:

$$S_{\text{неад}}^2 = \frac{SS_{\text{неад}}}{f_2}, \quad (3.8)$$

$$SS_{\text{неад}} = n \sum_{u=1}^N (y_{u \text{ роз}} - \bar{y}_{u2 \text{ роз}})^2, \quad (3.9)$$

де  $y_{u \text{ роз}}$  і  $\bar{y}_{u2 \text{ роз}}$  – значення відгуку в  $u$ -м досліді, відповідно розраховане за рівнянням регресії і визначене експериментально;  $f_2$  – число степенів свободи.

$$f_1 = N(n - 1), \quad (3.10)$$

де  $n$  – число повторності кожного досліді.

Таким чином, F-критерій представляє собою відношення дисперсії неадекватності і дисперсії досліді, дозволяє стверджувати про те, що в скільки разів модель передбачає гірше у порівнянні з дослідом.

Гіпотезу про адекватність рівняння приймають в тому числі, коли розраховане значення критерію Фішера не перевищує табличне [31] для вибраного рівня значимості, тобто є коли  $F_{\text{табл}} \geq F_{\text{розр}}$ .

### 3.5. Результат відсіючого експерименту

Аналіз літературних джерел, результати теоретичних досліджень показали, що на швидкість циркуляції води впливає безліч факторів.

Всі розглянуті фактори відповідають вимогам керованості, сумісності, однозначності й незалежності. Відсіючий експеримент дозволяє виявити тільки ті фактори, які найбільше істотно впливають на величину критерію оптимізації. Критерієм оптимізації є швидкість циркуляції води.

Експериментальні дослідження проводилися за планом Плакетта-Бермана. Отримані результати досліджень представлені в таблиці 2, додатку 1

Щоб одержати регресійну модель, яка дозволяє повною мірою оцінити оптимальну швидкість циркуляції води, необхідно обробити дані багатофакторного експерименту. У якості базового прийнятий чотирьохрівневий план Бокса-Бенкіна. Рівні варіювання факторів для проведення досліджень представлені в таблиці 3, додатку 1.

Матриця плану багатофакторного експерименту по Боксу-Бенкіну наведена в таблиці 4, додатку 1.

Як функція відгуку прийнята швидкість циркуляції води в експериментальній груповій автонапувалці.

### **3.6. Регресійна модель залежності швидкості циркуляції води від незалежних факторів**

Рівняння регресії для чотирьохфакторного експерименту має такий вигляд:

$$v = b_0 + b_1 \cdot \alpha + b_2 \cdot \beta + b_3 \cdot \Delta t + b_4 \cdot H_{\text{н.ч.}} + b_5 \cdot \alpha\beta + b_6 \cdot \alpha\Delta t + b_7 \cdot \alpha H_{\text{н.ч.}} + b_8 \cdot \beta\Delta t + b_9 \cdot \beta H_{\text{н.ч.}} + b_{10} \cdot \Delta t H_{\text{н.ч.}} + b_{11} \cdot \alpha^2 + b_{12} \cdot \beta^2 + b_{13} \cdot \Delta t^2 + b_{14} \cdot H_{\text{н.ч.}}^2 \quad (3.11)$$

У результаті обробки експериментальних даних багатофакторного експерименту отримане наступне рівняння регресії [32] у розшифрованому виді:

$$v = -27,0604 + 38,4387\alpha + 91,8918\beta + 3,0324\Delta t + 73,2000H_{\text{н.ч.}} + 14,0361\alpha\beta - 2,5434\beta\Delta t + 7,7417\Delta t H_{\text{н.ч.}} - 69,0804 \cdot \alpha^2 - 52,1048\beta^2 - 0,1848\Delta t^2 - 28,7053H_{\text{н.ч.}}^2 \quad (3.12)$$

Для перевірки адекватності коефіцієнтів математичної моделі використали критерій Стюдента. Табличне значення критерію для ступеня вільності  $f=62$  дорівнює  $t=1,997$ . Розрахункові значення критерію  $t^p$  для кожного коефіцієнта відповідно рівні: -20,8431; 37,8383; 66,4421; -27,1351; 69,3187; 11,8438; 19,4092; -19,5620; -34,7587; 1,1722; 163,0651; -62,2003; -42,6818; -26,3986; -22,2436. Для всіх коефіцієнтів моделювання повинне виконуватися умова  $t^p > t^t$ , отже, коефіцієнти значимими. Для визначення



значимості коефіцієнтів розрахункові значення критерію  $t^p$  необхідно помножити на середній квадрат помилки, а потім визначити їхню значимість.

Адекватність математичної моделі визначали за критерієм Фішера для ступенів вільності  $f_1 = 62$ ,  $f_2 = 14$  при довірчій ймовірності 95%. Розрахункове "нижнє" значення критерію Фішера дорівнює  $F_p = 0,2258$ . Табличне відповідно  $F^T = 1,95$ . Умова  $F_p < F^T$  виконується, отже, модель адекватно відображає шукану залежність [32].

Для оцінки якості виконаного наближення використали також критерії:

Критерій SSE (Sum of squares due to error) [33] – сума квадратів помилок .

Критерій SSE знаходили за формулою:

$$SSE = \sum_{k=1}^n w_k (y_k - \bar{y}_k)^2, \quad (3.13)$$

де  $w_k$ - ваги (якщо вони не зайняті при імпорті даних, то вважаються рівними одиниці),  $y_k$  — дані в  $x_k$ ,  $\bar{y}_k$  – значення параметричної моделі в  $x_k$ . Близькість SSE до нуля говорить про хороші якості наближення даних параметричної моделі.

Критерій R - квадрат (R - square) - квадрат змішаної кореляції. Визначається як відношення суми квадратів відносно регресії SSK до повної суми квадратів (SST), т.е.

$$SSR = \sum_{k=1}^n w_k (\hat{y}_k - \bar{y})^2, \quad (3.14)$$

$$SST = \sum_{k=1}^n w_k (y_k - \bar{y})^2, \quad (3.15)$$

$$R - \text{квадрат} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}, \quad (3.16)$$

де  $\bar{y}$  – середнє значення в  $x_k$ .

Критерій R – квадрат може приймати значення тільки від нуля до одиниці і як, правило, чим ближче він до одиниці, тим краще параметрична модель приймає вихідні дані.

Корінь із середнього значення помилки RSME (Root mean Squared Error)

$$RSME = \sqrt{\frac{SSE}{n-m}}. \quad (3.17)$$

Близьке значення до нуля RSME означає хороше наближення вихідних даних параметричної моделі.

В результаті розрахунків отримаємо наступні дані критеріїв:  $R = 0,973$ ;  $RSME=0,1139$ ;  $SSE = 0,4050$ . Отримані значення підтверджують високу якість опису об'єкта рівняння регресії.

Для візуальної оцінки впливу кута нахилу патрубку від вертикальної осі й кута його зрізу на швидкість термосифонної циркуляції води в напувальній чаші отримані регресійні залежності, які представлені у вигляді графіків на рис. 3.2...3.7.

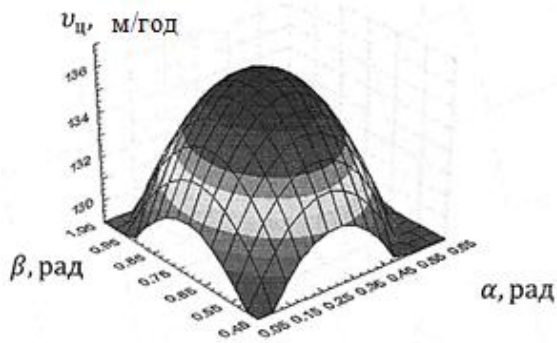


Рис. 3.2 – Графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,18$  м

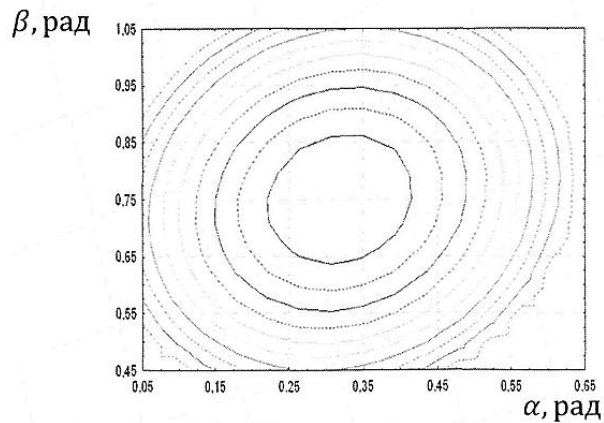


Рис. 3.3 – Контурний графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,18$  м

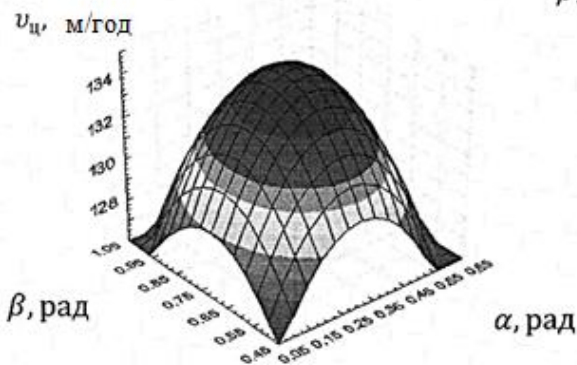


Рис. 3.4 – Графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,15$  м

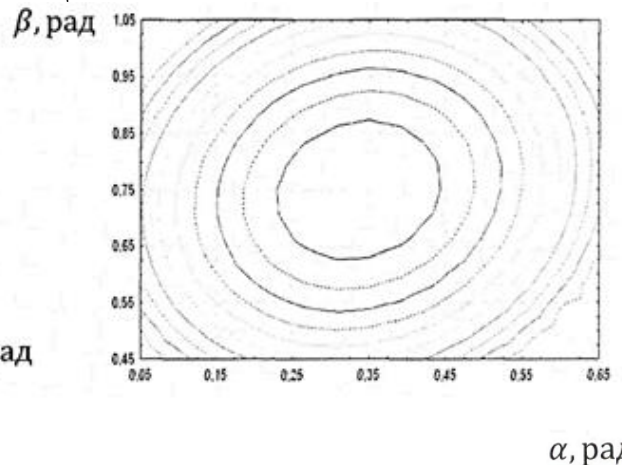


Рис. 3.5 – Контурний графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,15$  м

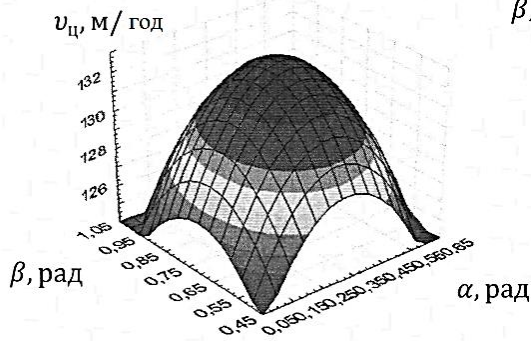


Рис. 3.6 – Графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,12$  м

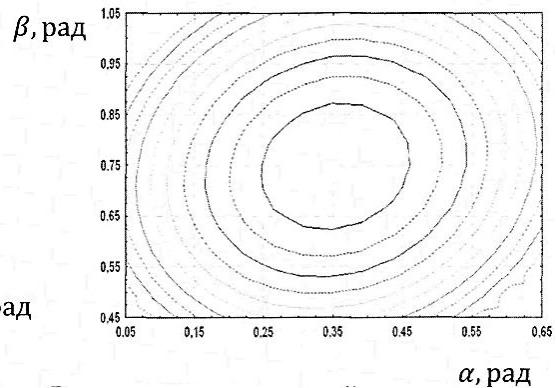


Рис. 3.7 – Контурний графік поверхні  $u_c = f(\alpha, \beta)$  при  $\Delta t=8^\circ$ ,  $H_{н.ч.}=0,12$  м

Контурні графіки дозволяють однозначно визначити параметри кута нахилу й кута зрізу перфорованих по висоті патрубків.

Для керування процесом швидкості циркуляції води в груповій автоматичній напувалці необхідно знати, чи існують оптимальні параметри  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Delta t$ ,  $H_{н.ч.}$ , що забезпечують максимум швидкості циркуляції. Із цією метою досліджені поліноми 3.12, взявши частки першу й другу похідні по незалежних факторах. У результаті одержали

$$\frac{g^{\vartheta}}{gH_{н.ч.}} = 73,2 - 7,9777\alpha + 1,2060\beta + 7,7417\Delta t - 57,4106H_{н.ч.}$$

$$\frac{g^{2\vartheta}}{gH_{н.ч.}^2} = -57,4106.$$

Друга похідна має по фактору  $H_{н.ч.}$  точку максимуму, так і значення

$$\frac{g^{2\vartheta}}{gH_{н.ч.}^2} < 0.$$

Для інших факторів

$$\frac{g^{\vartheta}}{g\Delta t} = -3,0324 + 1,1873\alpha - 2,5434\beta + 7,7117H_{н.ч.} - 0,3696\Delta t;$$

$$\frac{g^{2\vartheta}}{g\Delta t^2} = -0,3696.$$

Точка максимуму існує.

$$\frac{g^{\vartheta}}{g\alpha} = 38,4887 + 14,0361\beta + 1,1873\Delta t - 7,9777H_{н.ч.} - 138,1608;$$

$$\frac{g^{2\vartheta}}{g\Delta\alpha^2} = -138,1608.$$

Точка максимуму існує.

$$\frac{g^{\vartheta}}{g\beta} = 91,8918 + 14,036\alpha - 2,543\Delta t + 1,2060H_{н.ч.} - 104,2096;$$

$$\frac{g^{2\vartheta}}{g\beta^2} = -104,2096.$$

Точка максимуму також існує.

Отримані числові значення інших похідних по незалежних факторах дозволяють зробити висновок про те, що для одержання полінома (3.12) існують точки максимуму, що дозволяють розрахувати величини всіх факторів, що забезпечують максимальну швидкість циркуляції води в груповій автонапувалці.

Аналіз графіків на рис. 3.2...3.7 показує, що для забезпечення найбільшої швидкості циркуляції води в експериментальній груповій автонапувалці при різних зафіксованих значеннях  $\Delta t$  виконання умов,

зазначених у таблиці 5, додатку 1. Таким чином, було встановлено, що швидкість циркуляції води в груповій автонапувалці залежить від кута нахилу водовипускного патрубку  $\alpha$ , кута зрізу водовипускного перфорованого патрубку  $\beta$ , різниці температур  $\Delta t$  і рівня води в напувальній чаші  $H_{н.ч.}$ . При максимальному споживанні води тваринами з групової автонапувалки збільшення швидкості циркуляції й надходження підігрітої води в зону водопойного стакану може бути забезпечене при куті нахилу  $\alpha = 15...25^\circ$  водовипускного перфорованого патрубку й при його куті зрізу  $\beta = 40...50^\circ$ .

### **Висновки по розділу 3**

Для забезпечення швидкості циркуляції води  $0,034...0,037$  м/с у груповій автонапувалці необхідно застосовувати кути нахилу  $\alpha = 15...25^\circ$  водовипускного патрубку і його кута зрізу  $\beta = 40^\circ..50$ .

Запропоновані технічні рішення забезпечують рівномірність підігріву води по поверхні й об'єму в напувальній чаші, а також підтримка температури відповідно до зоотехнічних вимог у межах  $8...18^\circ\text{C}$ .

## ВИСНОВКИ

Проведений аналіз процесу роботи групових автонапувалок показав, що існуючі напувалки не забезпечують задану температуру води ( $8...18^{\circ}\text{C}$ ) при максимальному її споживанні тваринами.

Запропонована конструкція групової автонапувалки з системою підігріву води, обладнаною похилими водовипускними патрубками, зрізаними під певним кутом, дозволяють забезпечити напування тварин відповідно до зоотехнічних вимог.

У груповій автонапувалці з системою циркуляції води визначені оптимальні конструктивні й режимні параметри: нагрівальний блок, розміщений на відстані  $0,51...0,7$  м від днища напувальної чаші; діаметр циркуляційного трубопроводу  $0,022$  м; кут нахилу парубків  $\alpha=15...25^{\circ}$  і кут їхнього зрізу  $\beta=40...50^{\circ}$ . При цьому швидкість циркуляції повинна бути в межах  $0,033...0,037$  м/с.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М (авт. Науменко О.А., Бойко І.Г., Грідасов В.І., Дзюба А.І. та інші) Харків ХНТУСГ, 2009. 429 с.
2. Капский, С.К. Автопоилка для животных / С.К. Капский, А.Ф Иванов // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 570348, 1977.
3. Линецкий, Я.И. Автопоилка для животных / Я.И. Линецкий, А.Ф Иванов, В.Ф. Марков // Описание изобретения к авторскому свидетельству №516860, 1975.
4. Поцелуев А.А. Результаты исследований процесса автопоения// Механизация и электрификация с.-х. производства. 1990. №6. С.30.
5. Мальцев Д.О. Обґрунтування системи автонапування великої рогатої худоби /Д.О. Мальцев, О.М. Сукманюк //Матеріали IV міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020. С. 184-186.
- 6.Технологія виробництва продукції тваринництва: Підручник/О.Т.Бусенко, В.Д.Столюк, М.В.Штомпель та ін.; За ред. Т.О.Бусенка. К.: Аграрна освіта, 2001. 432с.
7. Венцель, Е.С Теория вероятностей / Е.С Венцель. Москва: Наука, 1969.-576 с.
8. Галкин, А.Ф. Комплексная механизация производственных процессов в животноводстве / А.Ф. Галкин. - Москва: Колос, 1969. 296 с.
9. Ерохин, Н.А. О нормах водопотребления для проектирования водопровода в животноводческих хозяйствах / Н.А. Ерохин, В.М. Долииская // Гидротехника и мелиорация. № 9. 1958. С 3.
10. Мельников, СВ. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / СВ. Мельников. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Агропромиздат, 1985. 640 с.

11. Водоснабжение животноводческих ферм и пастбищ / В.С Мисинев, СИ. Мурашев, СИ Поляков и др. -Москва: Колос, 1974. 335 с.
12. Поцелуев, А.А. Водоснабжение объектов сельскохозяйственного назначения: учебное пособие. - Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2005. 306 с.
13. Ревенко І.І. Механізація виробництва продукції тваринництва / І.І. Ревенко, Г.М. Кукта та ін.; За дед. І.І. Ревенка. К.: Урожай, 1994. 264 с.
14. Групповая автопоилка с электроподогревом: Информационный листок №241-76. - Ульяновск: ЦНТИ, 1976.
15. Лыгин, А.А. Обоснование режимов работы и параметров групповых средств автопоения для КРС: диссертация кандидата технических наук. А.А. Лыгин. - Зерноград, 2001. 158 с.
16. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. І.Г. Бойко. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. 216 с.
17. Заушицын, В.Е. Автопоилка для животных / В.Е. Заушицын, К.С. Виноградов, М.Я. Красик // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 301138, 1971.
18. Григорович, В.Н. Клапан автопоилки для животных / В.Н. Григорович // Описание изобретения к авторскому свидетельству №409695, 1974.
19. Капский, С.К. Автопоилка для животных / С.К. Капский, А.Ф Иванов // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 570348, 1977.
20. Механизация животноводства: учебное пособие / В. К. Гриб и др; под редакцией В. К. Гриб. - Мн.: Ураджай, 1987. 440 с.
21. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. І.Г. Бойко. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. 216 с.
22. Заушицын, В.Е. Автопоилка для животных / В.Е. Заушицын, К.С. Виноградов, М.Я. Красик // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 301138, 1971.
23. Елисеев, М.Я. Водоснабжение отгонного животноводства / М.Я. Елисеев, В.С. Оводов. - Москва: Сельхозгиз, 1957. 192 с.
24. Канторович, Б.В. Гидравлика, водоснабжение и гидросиловые установки

/ Б.В. Канторович, Н.К. Кузнецов. - Москва: Сельхозиздат, 1961. 551 с.

25. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, И.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич. - Москва: Колос, 1999. 529 с.

26. Ревенко І.І. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств / І.І. Ревенко. К.: Урожай, 1999. С. 13-14, 17.

27. Аширяев, К.Ш. Исследование неравномерности водопотребления системах сельскохозяйственного водоснабжения // Тр. Казах. НИИ водного хозяйства. Т.5. 1970. С. 255-260.

28. Вукалович, М.П. Термодинамика / М.П. Вукалович, И.И. Новиков. Москва: Машиностроение, 1972. 670 с.

29. Батюк, И.Б. Автопоилка для животных / И.Б. Батюк // Описания изобретения к авторскому свидетельству № 171223, 1965.

30. Лыгин, А.А. Обоснование режимов работы и параметров групповых средств автопоения для КРС: диссертация кандидата технических наук. А.А. Лыгин. - зерноград, 2001. 158 с.

31. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. І.Г. Бойко. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. 216с.

32. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. - Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1982. 302 с.

33. [https://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/AOTI\\_lection\\_2017.pdf](https://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/AOTI_lection_2017.pdf)



## **ДОДАТКИ**

Таблиця 1. - Фактори й рівні їхнього варіювання з визначення швидкості циркуляції води в автонапувальці

№ п/п	Фактор	Діапазон варіювання		
1	Діаметр водовипускних патрубків $d_n$ , м	16	22	25
2	Довжина водовипускних патрубків $l_n$ , м	60	90	120
3	Різниця температур в нагрівальному блоці і напувальній чаші $\Delta t$ , °С	8	6	4
4	Кут нахилу від вертикальної вісі патрубка $\alpha$ , град	15	10	5
			25	5
5	Кут зрізу патрубка $\beta$ , град	45	40	30
			50	45
6	Рівень води в напувальній чаші $H_{н.ч}$ , м	180	150	120
7	Температура води в напувальній чаші $t_{н.ч}$ , м	8	13	18

Таблиця 2 - Результати відсіючого експерименту

Фактор	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
Параметр							
Коефіцієнт $b_t$	1,067	1,392	1,802	1,981	1,742	1,632	1,204
Довірливий інтервал $\Delta b_i$	1,078	1,406	1,618	1,341	1,525	1,406	1,23
Значимість коефіцієнта	Незначний	Незначний	Значний	Значний	Значний	Значний	Незначний

Таблиця 3 - Фактори й рівні варіювання для багатфакторного експерименту

п/п	Фактор	Діапазон варіювання		
		+1	0	-1
1	Кут нахилу від вертикальної вісі патрубка $\alpha$ , град	15	10	5
		30	25	5
2	Кут зрізу патрубка $\beta$ , град	45	40	30
		55	50	45
3	Різниця температур у нагрівальному блоці й напувальній чаші $\Delta t$ , °С	8	6	4
4	Рівень води в напувальній чаші $H_{н.ч}$ , м	180	150	120

Таблиця 4 - Матриця плану багатофакторного експерименту по Боксу-Бенкіну

№ п/п	Кут нахилу від вертикальної вісі патрубка $\alpha$ , град	Кут зрізу патрубка $\beta$ , град	Різниця температур у нагрівальному блоці й напувальній чаші $\Delta t$ , °C	Рівень води в напувальній чаші $H_{п.ч}$ , м
1	2	3	4	5
1	1	1	0	-1
2	-1	0	-1	-1
3	1	-1	0	1
4	0	-1	0	1
5	1	0	-1	0
6	1	-1	0	-1
7	1	0	-1	1
8	0	-1	0	1
9	1	0	0	0
10	-1	0	-1	0
11	1	0	-1	0
12	0	-1	1	0
13	1	0	1	0
14	1	1	-1	1
15	0	1	-1	0
16	0	-1	1	0
17	0	1	1	0
18	1	0	0	-1
19	1	0	0	1
20	-1	1	0	1
21	-1	0	0	1
22	-1	1	0	-1
23	1	0	-1	-1
24	0	1	0	-1
25	1	-1	0	1
26	0	1	1	1
27	1	0	1	0

Таблиця 5 - Результати аналізів графіків поверхонь відгуків

Різниця температур	Рівень водив напувальній чаші	Кут знаходу патрубка $a$	Кут зрізу патрубка	Швидкість циркуляції води, $u$
$\Delta t = 8^\circ$	$H_{\text{н.ч.}} = 1,80 \text{ м}$	12,62°...24,077°	36,688°...49,298°	0,037 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,50 \text{ м}$	13,183°...25,223°	36,115°...49,873°	0,0366 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,20 \text{ м}$	14,332°...26,370°	35,542°...49,873°	0,0363 м/с
$\Delta t = 6^\circ$	$H_{\text{н.ч.}} = 1,80 \text{ м}$	11,465°...22,928°	38,406°...53,313°	0,0358 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,50 \text{ м}$	12,612°...24,648°	38,99°...53,313°	0,0355 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,20 \text{ м}$	13,758°...25,682°	38,408°...52,166°	0,0347 м/с
$\Delta t = 4^\circ$	$H_{\text{н.ч.}} = 1,80 \text{ м}$	9,476°...27,928°	40,701°...53,313°	0,0345 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,50 \text{ м}$	11,465°...24,648°	40,702°...55,606°	0,0338 м/с
	$H_{\text{н.ч.}} = 1,20 \text{ м}$	12,612°...25,223°	40,701°...55,604°	0,033 м/с